

Г. М. СУЧКОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»

К. Л. НОЗДРАЧОВА, аспірант, НТУ «ХПІ»

ЕЛЕКТРОМАГНІТНО-АКУСТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ДОВГОМІРНИХ ВИРОБІВ ЛУНА-ДИФРАКЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Розроблено метод, який дозволяє підвищити надійність виявлення дефектів пакетами об'ємних хвиль. За його допомогою можна виявляти внутрішні дефекти поздовжнього типу в стрижнях незалежно від їхнього розташування в перетині, їх форми та матеріалу заповнення за допомогою використання ефектів дифракції. Експериментально підтверджено роботу даного методу за допомогою сконструйованих ЕМА перетворювачів для контролю стрижнів з феро- і немагнітних матеріалів різної форми перетину

The method which allows to raise reliability of revealing of defects packages of volume waves is developed. By the instrumentality of this method it is possible to reveal internal longitudinal defects in rods irrespective of their arrangement in section, their form and a material of filling by the instrumentality of use of effects of diffraction. Work of the given method by the instrumentality of designed EMA converters for the control rods with ferro - and nonmagnetic materials of the different form of section is experimentally confirmed

Для підвищення дефектоскопії довгомірних виробів на присутність дефектів, була розроблена технологія контролю [1] без повного сканування всієї поверхні стрижня яка реалізуються за допомогою застосування контактних методів ультразвукового контролю. В [2] показано, що результати контролю стрижнів за допомогою нової технології в значній мірі залежать від знаходження на поверхні виробу контактної рідини та стану поверхні виробу. Імпульси від крапель рідини маскують корисні сигнали, що дещо знижує чутливість способу виявлення дефектів в виробах. Виключити вплив контактної рідини на результати контролю можливо за рахунок використання безконтактних методів збудження і прийому ультразвукових імпульсів [3]. Найбільш розвиненими з них є електромагнітно-акустичний [4]. В роботі [5] показано, що в електропровідному виробі можливо збуджувати об'ємні хвилі, аналогічні тим, які збуджуються п'єзоелектричними перетворювачами. Тобто зсувні коливання з вертикальною поляризацією.

Окрім відміченого є ще одна дуже перспективна перевага традиційного ЕМА перетворювача для збудження і прийому акустичних імпульсів під кутом до поверхні контрольованого металу. Такі перетворювачі мають подвійну діаграму спрямованості акустичного поля симетричну відносно робочої частини провідників індуктора перетворювача. Тобто від ЕМАП акустичне поле одночасно розповсюджується в обидві сторони від середини витягнутого в одному напрямку виробі. Це дає можливість ще в 2 рази збільшити продуктивність дефектоскопії новим луна - дифракційним методом [1-2].

Для формування акустичного поля з напрямком, вісь якого має нахил щодо поверхні введення для криволінійних поверхонь форма провідників ЕМА перетворювача при збудженні і прийомі акустичних коливань повинна бути «зигзагоподібна» з заданим кроком. В такому випадку в дуже тонкому поверхневому шарі металу формуються сили збурення за рахунок просторово розподіленого змінного електромагнітного поля і постійного поляризовуючого магнітного поля. Постійне магнітне поле може бути як нормальне до поверхні, так і тангенційне.

При круглому перетині виробу індуктор ЕМАП повинен повторювати форму його поверхні з урахуванням товщини захисного протектора та технологічного зазору між ним і поверхнею, з якої збуджується ультразвукові коливання, рис. 1. При цьому витки високочастотної котушки струм в яких йде назустріч друг другу повинні розташовуватися на відстані, яка визначається виразом [6]

$$\beta = \arcsin \frac{C}{2af}, \quad (1)$$

де β – кут, створений напрямком розповсюдження акустичного імпульсу й нормаллю до поверхні металу, з якої збуджується УЗК; C – швидкість розповсюдження об'ємних вертикально поляризованих пружних коливань; $2a$ – відстань між робочими ділянками високочастотного індуктора ЕМАП; f – частота ультразвукових коливань.

Ультразвуковий промінь розповсюджується переважно у напрямку нормально провідникам робочої частини «зигзагоподібної» ділянки, якою є довга його частина (див. рис. 1).

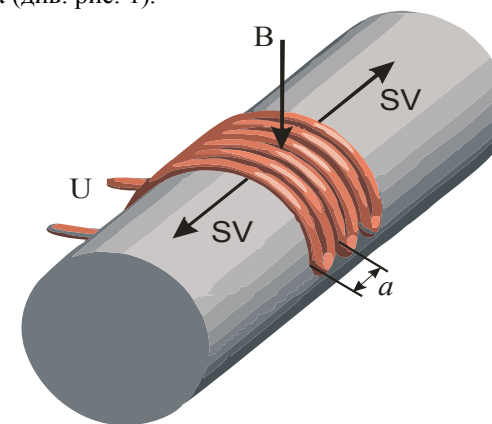


Рисунок 1 - Високочастотний індуктор для контролю стрижнів з формою перетину в вигляді кола з відомим радіусом

Кут розповсюдження збуджених похилих об'ємних вертикально поляризованих коливань SV відносно поверхні металу в основному залежить від просторового кроку решітки індуктора ЕМАП і частоти високочастотного струму, який через його пропускають в вигляді пакетних імпульсів з заповненням, який визначається з формули (1).

Якщо поверхня металу має наприклад поверхню з гранями, то форма високочастотної котушки також повинна мати поверхню, що повторює форму граней з урахуванням товщини протектора і повітряного прошарку (при механізованому та автоматичному контролі), рис. 2.

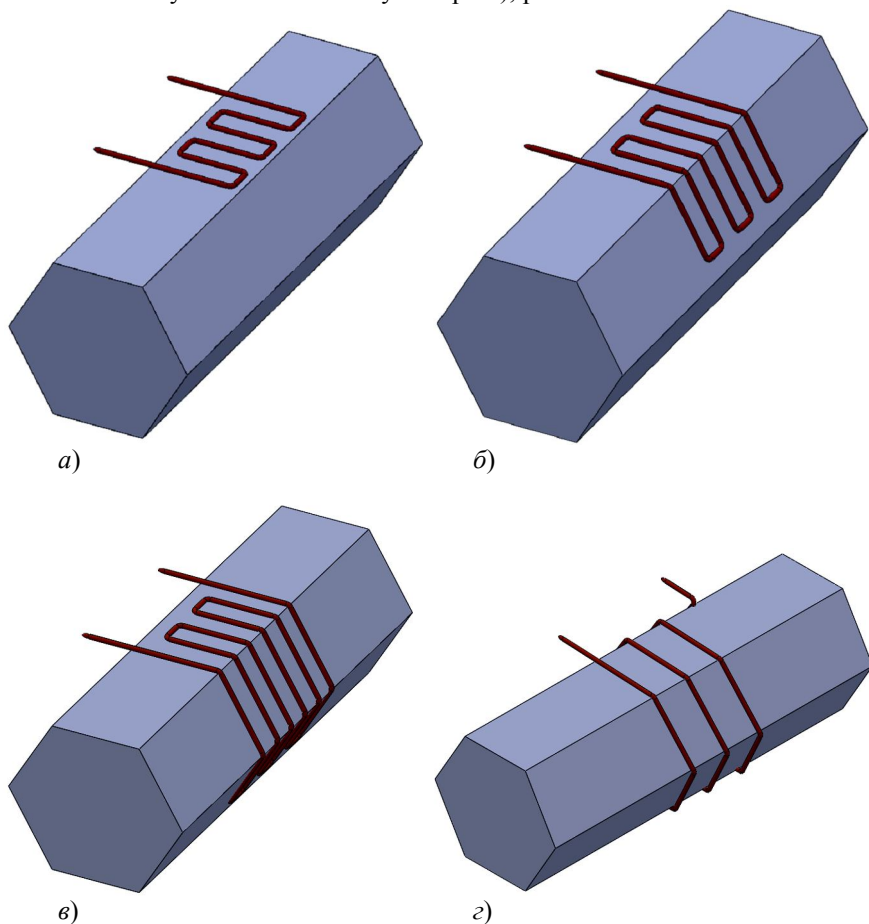
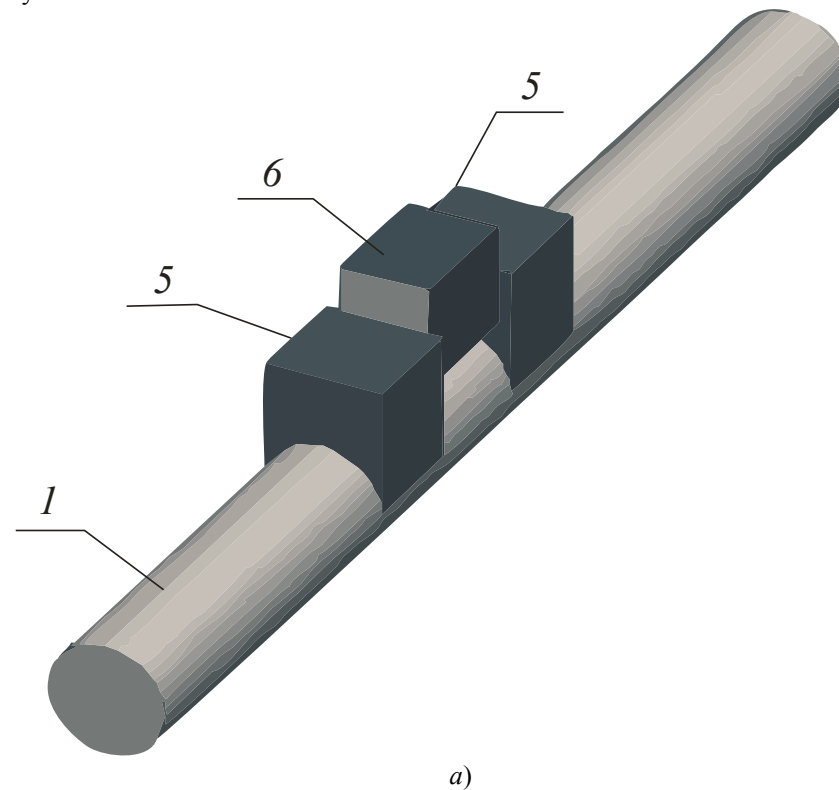


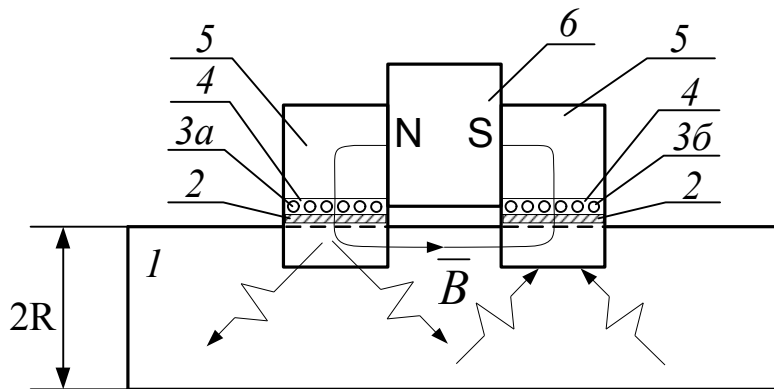
Рисунок 2 - Високочастотні індуктори для контролю стрижнів з шестигранною формою перетину: а) з однієї поверхні; б) з двох поверхонь; в) з трьох поверхонь; г) з усього периметру.

Для забезпечення відповідної форми постійного магнітного поля в зоні дії робочих ділянок індуктора перетворювача полюси його джерела повинні також повторювати форму поверхні збудження даного виробу. Величина індукції цього поляризовуючого поля повинна бути якомога більшою, оскільки від цього залежить чутливість дефектоскопії [7]. Формувати магнітне поле ЕМАП доцільно шляхом створення замкнутої системи, рис. 3. Такий підхід є оптимальним, оскільки більшість виробів, які випускаються металургійними підприємствами в Україні, є феромагнітними.

Перетворювач такого типу працює наступним чином. Постійний магніт 6 через осердя 5 створює в робочій зоні задану величину індукції. В цій же зоні одною високочастотною котушкою 3а формується змінне поле. В результаті взаємодії полів в поверхневому шарі металу збуджуються змінні напруги і, відповідні акустичні поля, які розповсюджуються під кутом до поверхні в двох напрямках – вздовж найбільшої осі стрижня. Хвилі, перевідбиваючись і трансформуючись, поширюються до торця виробу, відбившись від торця, формується група хвиль, які приймаються другою котушкою 3б.



а)



б)

Рисунок 3 - Спрощене зображення джерела постійного магнітного поля ЕМАП для контролю стрижнів з перетином в вигляді кола для феромагнітних матеріалів а) тривимірне зображення джерела постійного магнітного поля ЕМАП; б) спрощене зображення джерела постійного магнітного поля ЕМАП:

1 – об’єкт контролю; 2 – протектор; 3а, 3б – високочастотні котушки, наклеєні на електроізоляційний шар 4; 5 – осердя магніту; 6 – постійний магніт.

Для досліджень та контролю феромагнітних стрижнів діаметром від 10 до 50 мм було виготовлено ЕМА перетворювач, схема якого та зовнішній вигляд показано на рис. 4. ЕМАП включає: корпус 8, в якому розміщено постійний магніт 6, наприклад на основі Ne-Fe-B, і два осердя 5, які розташовані по обидва боки від магніту 6. Полюси осердів 5 виконано за формою поверхні контрольованого виробу 1. На їх поверхні наклеєні електроізоляційні пластини 4, які потрібні для забезпечення роботи високочастотних котушок 3 і 7, на які подається доволі висока напруга живлення (300...2000 В). Під високочастотними котушками 3 і 7 розміщується протектор 2. Він повинен бути зносостійкий неелектропровідний, стійкий до ударів. Його товщина повинна бути мінімальна, оскільки відстань між високочастотною котушкою і поверхнею металу суттєво впливає на амплітуду корисного сигналу.

ЕМАП для контролю феромагнітних стрижнів працює наступним чином. На високочастотну котушку 3 подається напруга живлення з частотою, яка визначається формулою (1). Струм в котушці формує змінне високочастотне електромагнітне поле, яке взаємодіє з поверхнею контрольованого виробу 1. На цю ж ділянку виробу 1 діє постійне магнітне поле, яке створюється полюсом осердя 5. Взаємодія електромагнітного і поляризовуючого магнітного полів в поверхневому шарі виробу 1 призводить до збудження пружних коливань, які розповсюджуються під кутом вздовж виробу 1 в обидві сторони, оскільки котушка ЕМА перетворювача є вісесиметричною.

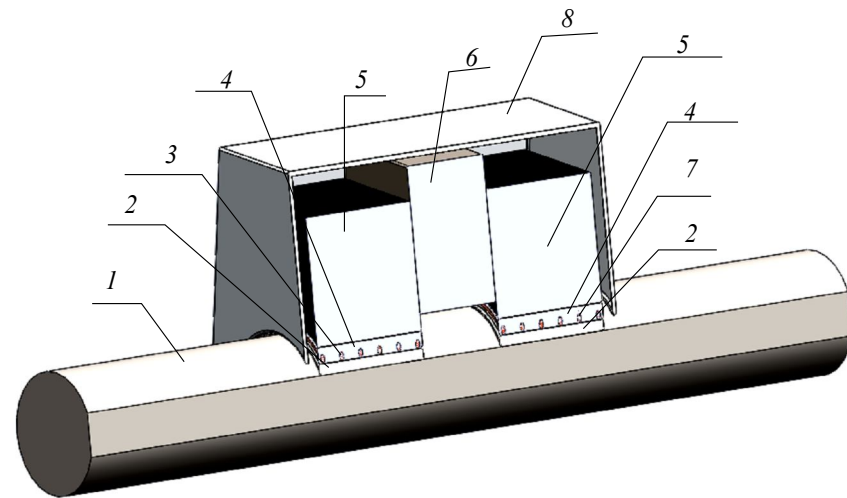


Рисунок 4 - ЕМАП для контролю виробів стрижневого типу, виготовлених з феромагнітного матеріалу:

1 – об’єкт контролю; 2 – протектор; 3, 7 – високочастотні катушки, наклеєні на електроізоляційний прошарок 4; 5 – осердя магніту; 6 – постійний магніт; 8 – каркас.

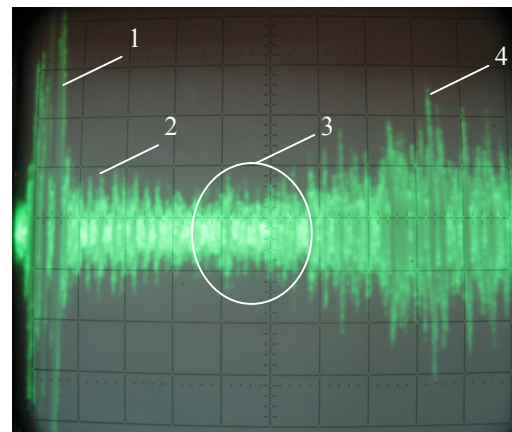


Рисунок 5 – Реалізація на екрані осцилографа з сигналами від дефектів в стрижні круглого перетину:

1 – зондуєчий імпульс; 2 – імпульс від дефекту у вигляді поперечного пропила глибиною 3 мм; 3 – імпульс від дефекту у вигляді свердління глибиною 3 мм; 4 – імпульс від торця стрижня

Якщо в виробі є дефект, то багаторазово відбиті промені ультразвукових імпульсів дифрагують на них, багаторазово відбиваються і в результаті приймаються високочастотною котушкою 7 та ресструються на екрані осцилографу. На рис. 5 зображено реалізацію на екрані осцилографа сигналів від дефектів при контролі феромагнітного стрижня діаметром 18 мм та довжиною 2 м.

У випадку контролю неферомагнітних виробів постійне магнітне поле необхідно створювати шляхом його витіснення в робочу зону ЕМАП, рис. 6. Очевидно, що воно буде мати

як нормальну так і тангенційну компоненту. Це значний вигоду, оскільки може призвести до збудження як подовжніх, так і зсувних об'ємних коливань.

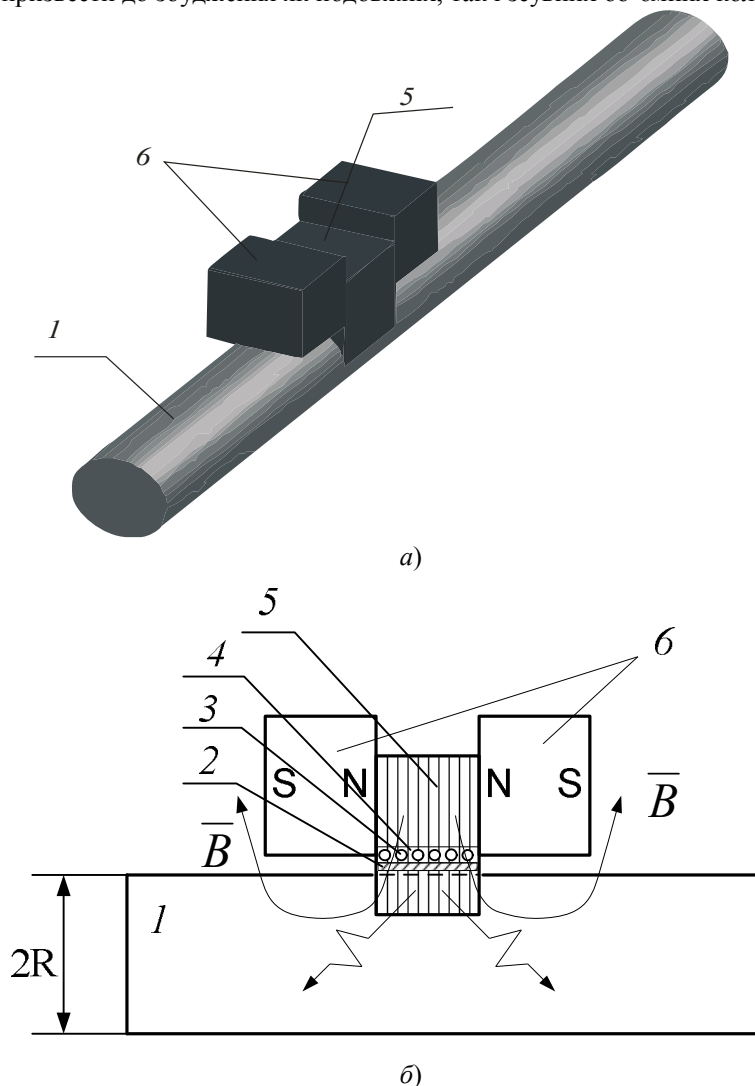


Рисунок 6 - Спрощене зображення джерела постійного магнітного поля ЕМАП для контролю стрижнів з перетином у вигляді кола для неферомагнітних матеріалів а) тривимірне зображення джерела постійного магнітного поля ЕМАП; б) спрощене зображення джерела постійного магнітного поля ЕМАП:

1 – об'єкт контролю; 2 – протектор; 3 – високочастотна котушка, наклеєна на електроізоляційний шар 4; 5 – осердя магніту; 6 – постійний магніт

В даному випадку, на відмінність від традиційного контролю, це додаткова кількість імпульсних пакетів, які збільшують можливість виявлення дефектів стрижнів.

Робота цього перетворювача відмінна від зображеного на рис. 3 формуванням постійного магнітного поля тим, що для збудження і прийому ультразвукових імпульсів використовується одна і та ж високочастотна котушка.

Функціонує цей ЕМАП таким же чином, що і показаний на рис. 4. Відмінністю є використання джерела постійного магнітного поля, яке витісняється в робочу зону за допомогою двох магнітів, орієнтованих одними і тими ж полюсами зустрічно. Окрім того, даний електромагнітно-акустичний перетворювач суміщений. Тобто, і збудження і прийом виконується однією і тією ж високочастотною котушкою. У цьому випадку необхідне узгодження ЕМАП з виходом ГЗІ, а також з входом попереднього підсилювача. Таке узгодження виконується з допомогою електричної схеми, наведеної на рис. 7.

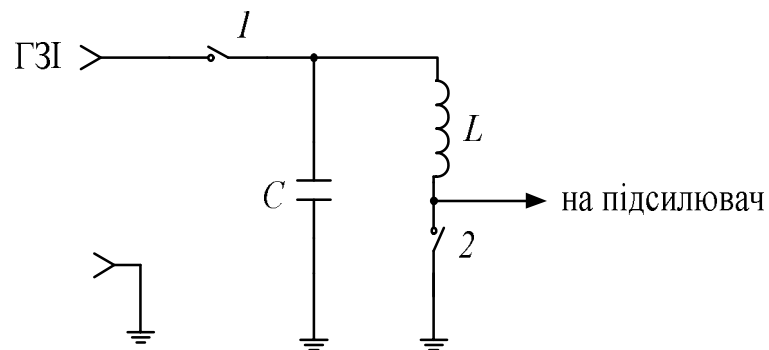


Рисунок 7 - Електрична схема ЕМАП за рис. 5

Схема функціонує наступним чином. Під час надходження високочастотних висковольтних імпульсів живлення з ГЗІ швидкодіючі ключі 1 і 2 відкриваються. Створюється резонансний контур з ємності C та індуктивності L високочастотної котушки ЕМА перетворювача. За рахунок резонансу, збільшується величина струму, який проходить через високочастотну котушку. Таким чином додатково підвищується чутливість дефектоскопу.

Після закінчення дії зондуєчого імпульсу ключі 1 і 2 закриваються. В результаті створюється за допомогою ємності C та індуктивності L послідовний резонансний контур. Наведена на ньому ЕРС також збільшується. Окрім того, корисний сигнал з частотою резонансу, відповідає частоті збуджених і прийнятих ультразвукових коливань. Чутливість

контролю ще більше зростає. Після цього корисний сигнал поступає на вхід попереднього підсилювача.

Для правильної оцінки якості довгомірного виробу ЕМА методом необхідно експериментально оцінити вплив факторів різного характеру. Серед тих які слід врахувати: зазор між ЕМА перетворювачем і поверхнею металу; перекося; величина індукції поляризуючого магнітного поля; величина імпульсного високочастотного струму в котушці ЕМА перетворювача; структура основної матриці металу виробу; чутливість до дефектів різних розмірів, орієнтації, розміщення в перетині, форми, заповнення; відстані до дефекту, торця виробу; взаємного просторового розміщення ЕМА датчика і виявляемого дефекту та інших.

Для виконання експериментальних досліджень був розроблений стенд, блок-схема і зображення якого приведено на рис. 8.

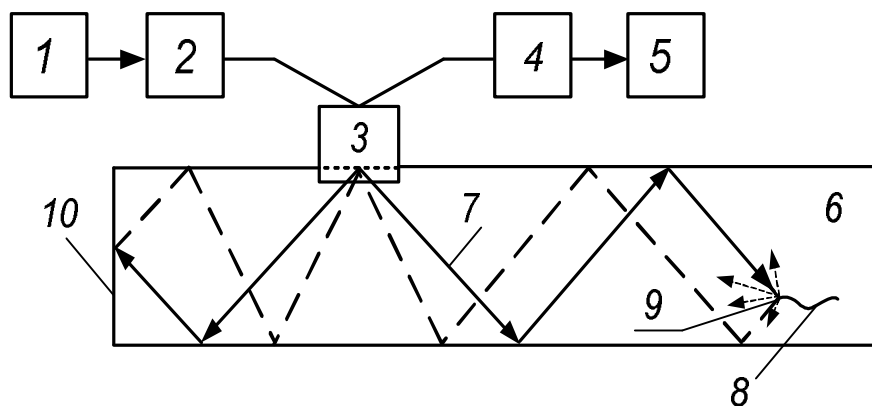


Рисунок 8 – Блок-схема стенду для експериментальних досліджень луна-дифракційного методу при контролі з використанням ЕМА перетворювачів

Стенд включає формувач 1 імпульсів, ГЗІ 2, ЕМАП 3, ПУ 4, осцилограф 5 і виріб 6. Функціонує він наступним чином. Формувач 1 виробляє напругу синхронізації та пакетів імпульсів, необхідні для зондуючих сигналів. ГЗІ 2 підсилює зондуючі імпульси до величини, достатньої для роботи ЕМАП 3. Збуджені в виробі 6 пакети імпульсів 7 розповсюджуються вздовж стрижня, збільшуючи з кожним відбиттям кількість імпульсів в ультразвуковому пакеті. При наявності в виробі 6 поверхневого або внутрішнього дефекту 8 імпульси пакету дифрагують на ньому. Дифраговані імпульси 9 в вигляді пакету повертаються до ЕМАП 3 і приймаються, підсилюються ПУ 4 і візуалізуються за допомогою осцилографа 5. Якщо дефекту 8 у виробі 6 нема, то пакетні імпульси відбиваються від торця 10 виробу 6. Пакет імпульсів від торця 10 визначає максимальну зону контролю. Наявність або відсутність

дефекту визначають за наявності або відсутності пакетних відображень між зондуючим сигналом і від торця відповідно.

Висновки:

– розроблений метод дозволяє підвищити надійність виявлення дефектів, оскільки з його допомогою можна виявляти внутрішні дефекти поздовжнього типу в стрижнях незалежно від їхнього розташування в перетині, форми дефекту та матеріалу його заповнення за допомогою використання ЕМА перетворювача, яким у довгомірному виробі збуджуються коливання під кутом до поверхні;

– експериментально підтверджено виявляємість моделей дефектів у вигляді поперечного пропилю глибиною 3 мм та свердління глибиною 3 мм за допомогою ЕМА перетворювача;

– розроблено і виготовлено ЕМА перетворювач для контролю стрижнів з феро- і немагнітних матеріалів різної форми перетину.

Список літератури: 1. Сучков Г.М., Ноздрачева К.Л. Підвищення продуктивності й надійності виявлення дефектів в стрижнях. Харків: Вісник НТУ «ХПІ», вып. 48, 2008, С. 104-109. 2. Сучков Г.М., Ноздрачева Е.Л., «Підвищення продуктивності й надійності виявлення дефектів протяжних виробів» // анотації доповідей XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – НТУ «ХПІ»– 2008. – С. 445. 3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В. В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. - Г.: Машиностроение, 2004. - 864 с. 4. Сучков Г.М. Современные возможности ЭМА дефектоскопии. – Дефектоскопия. – 2005. - №2. – с. 24-39. 5. Сучков Г.М., Ноздрачева К.Л., «Электромагнитно-акустический контроль стрижней» // тезисы доповідей VIII-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування 2008: стан і перспективи». – Київ. – Київ. – 2009. – с. 205-206. 6. Сучков Г.М., Себо В.П. Электромагнитно-акустические преобразователи. Учебн.-метод. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003 г. – 64 с. 7. Сучков Г.М., Донченко А.В., Десятниченко А.В., Келин А.А., Ноздрачева Е.Л. Повешение чувствительности ЭМА приборов // Дефектоскопия. - №2. – 2008. – с. 15-22.